

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant: Seidl, et al. Docket No.: INF-130  
Serial No.: 10/765,052 Art Unit: 2812  
Filed: January 28, 2004 Examiner: TBD  
For: Method of Fabricating an Oxide Collar for a Trench Capacitor

Mail Stop Amendment  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**Transmittal of Certified Copy of Priority Document**

Dear Sir:

Attached please find a certified copy of the foreign application from which priority is claimed for this case:

Country: Germany  
Application Number: 103 03 413.7  
Filing Date: January 29, 2003

Respectfully submitted,



Ira S. Matsil  
Reg. No. 35,272  
Attorney for Applicants

Slater & Matsil, L.L.P.  
17950 Preston Rd., Suite 1000  
Dallas, TX 75252  
Tel: 972-732-1001  
Fax: 972-732-9218

**BEST AVAILABLE COPY**

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 03 413.7

**Anmeldetag:** 29. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Herstellung eines Oxidkragens  
für einen Grabenkondensator

**IPC:** H 01 L 21/8242

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. Januar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office.

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

Klostermeyer

# MÜLLER • HOFFMANN & PARTNER – PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys – European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17  
D-81667 München

Anwaltsakte: 12369

Ko/Rb/mk

Anmelderzeichen: 2002P14350 DE  
(2002 E 14349 DE)

29.01.2003

## **Infineon Technologies AG**

St.-Martin-Straße 53  
81669 München

---

**Verfahren zur Herstellung eines Oxidkragens  
für einen Grabenkondensator**

---

---

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines Oxidkragens für einen Grabenkondensator

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung strukturierter keramischer Schichten auf im Wesentlichen senkrecht zu einer Substratoberseite angeordneten Flächen eines Reliefs.

10

Der wirtschaftliche Erfolg in der Halbleiterindustrie wird wesentlich von einer weiteren Reduzierung der minimalen Strukturgröße beeinflusst, die sich auf einem Mikrochip darstellen lässt. Eine Reduzierung der minimalen Strukturgröße ermöglicht eine Erhöhung der Integrationsdichte der elektronischen Bauelemente, wie Transistoren oder Kondensatoren auf dem Mikrochip und damit eine Steigerung der Rechengeschwindigkeit von Prozessoren sowie eine Steigerung der Speicherkapazität von Speicherbausteinen. Um den Flächenbedarf der Bauelemente auf der Chipoberfläche gering zu halten, nutzt man bei Kondensatoren auch die Tiefe des Substrats. Dazu wird zunächst ein Graben in den Wafer eingebracht. Anschließend wird eine Bottomelektrode erzeugt, indem beispielsweise die Bereiche eines Wafers, welche sich an die Wand des Grabens anschließen, zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit dotiert werden. Auf die Bottomelektrode wird dann eine dünne Schicht eines Dielektrikums aufgebracht. Zuletzt wird der Graben mit einem elektrisch leitfähigen Material aufgefüllt, um eine Gegenelektrode zu erhalten. Diese Elektrode wird auch als Topelektrode bezeichnet. Durch diese Anordnung von Elektroden und Dielektrikum wird der Kondensator quasi gefaltet. Bei gleich bleibend großen Elektrodenflächen, also gleicher Kapazität, kann die laterale Ausdehnung des Kondensators auf der Chipoberfläche minimiert werden. Derartige Kondensatoren werden auch als "Deep-Trench"-Kondensatoren bezeichnet.

15

20

25

30

35

In Speicherchips entspricht der geladene bzw. entladene Zustand des Kondensators den beiden binären Zuständen 0 bzw. 1. Um den Ladungszustand des Kondensators und damit die im Kondensator gespeicherte Information sicher bestimmen zu können, muss dieser eine bestimmte minimale Kapazität aufweisen. Sinkt die Kapazität bzw. bei teilentladenen Kondensator die Ladung unter diesen Wert, verschwindet das Signal im Rauschen, das heißt die Information über den Ladungszustand des Kondensators geht verloren. Nach dem Beschreiben entlädt sich der Kondensator durch Leckströme, welche einen Ladungsausgleich zwischen den beiden Elektroden des Kondensators bewirken. Um einem Informationsverlust durch die Entladung des Kondensators entgegenzuwirken, wird bei DRAMs der Ladungszustand des Kondensators in regelmäßigen Abständen überprüft und gegebenenfalls aufgefrischt, das heißt ein teilweise entladener Kondensator wird wieder bis zu einem ursprünglichen Zustand aufgeladen. Diesen so genannten Refreshing-Zeiten sind jedoch technische Grenzen gesetzt, das heißt, sie können nicht beliebig verkürzt werden. Während der Periode der Refreshing-Zeit darf die Ladung des Kondensators daher nur so weit abnehmen, dass eine sichere Bestimmung des Ladungszustandes möglich ist. Bei einem gegebenen Leckstrom muss der Kondensator zu Beginn der Refreshing-Zeit daher eine bestimmte minimale Ladung aufweisen, so dass zum Ende der Refreshing-Zeit der Ladungszustand noch ausreichend hoch über dem Rauschen liegt, um die im Kondensator gespeicherte Information sicher auslesen zu können. Mit abnehmenden Abmessungen des Kondensators nehmen die Leckströme zu, da Tunneleffekte an Bedeutung gewinnen. Um auch bei fortschreitender Miniaturisierung eine sichere Speicherung von Informationen gewährleisten zu können, muss der Kondensator eine ausreichende Kapazität aufweisen. Um trotz abnehmender Baugröße die gewünschte hohe Kapazität zu erhalten, werden eine Vielzahl von Lösungsansätzen verfolgt. So wird beispielsweise die Oberfläche der Elektroden mit einer Struktur versehen, um bei abnehmender Länge und Breite der Elektroden deren Oberfläche mög-

lichst groß zu gestalten. Ferner werden neue Materialien verwendet. So versucht man, das bisher als Dielektrikum verwendete Siliziumdioxid durch Materialien mit höherer Dielektrizitätskonstante zu ersetzen.

5

Um bei einer gegebenen Größe eines Kondensators eine möglichst hohe Kapazität zu erreichen, versucht man ferner, den unmittelbar an das Dielektrikum anschließenden Bereich des Halbleiters möglichst hoch zu dotieren, um so in unmittelbarer Nachbarschaft zum Dielektrikum eine möglichst hohe Flächenladungsdichte in der Elektrode zu erzeugen.

10

Der Kondensator ist in den Speicherchips mit einem Transistor verbunden, über den der Ladungszustand des Kondensators gesteuert werden kann. Bei Deep-Trench-Kondensatoren ist der Transistor meist oberhalb des Kondensators angeordnet. Um eine ausreichende elektrische Isolation zwischen Kondensator und Transistor erreichen zu können, wird der oberste Abschnitt des Grabens, an den sich der Transistor anschließt, nicht dotiert. Bei der Herstellung des Deep-Trench-Kondensators muss daher der Bereich, in welchem eine Dotierung des Halbleitersubstrats erfolgen soll, begrenzt werden. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem zur Herstellung der Bottomelektrode der Graben nur bis zu der Grenze mit einer festen Form des Dotiermittels aufgefüllt wird, bis zu der eine Dotierung der Wände des Grabens erfolgen soll. Dazu wird der Graben zunächst vollständig mit z.B. Arsenglas ausgefüllt und die Füllung anschließend bis zu einer Tiefe zurückgeätzt, unterhalb der eine Dotierung des Halbleiters erfolgen soll.

25

30

Anschließend wird das Halbleitersubstrat erhitzt, so dass das Dotiermittel, in diesem Fall Arsenionen, durch die thermische Energie aus dem Arsenglas in den umgebenden Halbleiter diffundiert. Mit abnehmenden Abmessungen der Gräben kann jedoch keine ausreichende Menge an Dotiermittel durch das Arsenglas zur Verfügung gestellt werden. Ferner wird durch die Verarmung des Arsenglases während des Dotiervorgangs das Maximum

35

der Arsenkonzentration im Halbleiter nicht unmittelbar an der Wand des Grabens eingestellt, da mit zunehmender Dauer des Temperschrittes das Maximum der Dotiermittelkonzentration von der Grabenwand weg in den Halbleiter hinein wandert.

5

Um auch bei geringen Abmessungen der Gräben eine ausreichend hohe Dotierung zu erreichen, geht man daher dazu über, das Dotiermittel aus der Gasphase in den Halbleiter einzubringen. Da in der Gasphase ständig eine ausreichend hohe Konzentration des Dotiermittels zur Verfügung steht, wird eine hohe Dotierung der Abschnitte des Halbleiters erreicht, die im fertigen Kondensator die Bottomelektrode bilden, wobei insbesondere an der Grenzfläche zwischen Halbleiter und Dielektrikum eine hohe Konzentration des Dotiermittels eingestellt

10

15

20

25

30

35

werden kann. Dazu ist jedoch erforderlich, dass diejenigen Bereiche des Halbleiters, welche undotiert bleiben sollen, mit einer Diffusionsbarriere abgedeckt werden. Bei der Herstellung von Deep-Trench-Kondensatoren wird daher zunächst im oberen Abschnitt des Grabens ein Kragen aus Siliziumnitrid aufgebaut, welcher dann bei der Gasphasendotierung als Diffusionsbarriere wirkt. Dazu kann der Graben beispielsweise zunächst mit Polysilizium aufgefüllt werden, welches anschließend isotrop bis zur unteren Kante des herzustellenden Kragens zurückgeätzt wird. Anschließend wird auf den freiliegenden Wänden im oberen Abschnitt des Grabens eine dünne Schicht aus Siliziumnitrid abgeschieden. Die Abscheidung dieses keramischen Materials erfolgt im Allgemeinen mit einem CVD-(CVD = Chemical Vapor Deposition) oder einem ALD-Verfahren (ALD = Atomic Layer Deposition). Anschließend wird die auf der Polysiliziumfüllung abgeschiedene Siliziumnitridschicht anisotrop zurückgeätzt, so dass die Siliziumnitridschicht nur an den zur Substratoberseite senkrecht angeordneten Grabenwänden verbleibt und dort einen Kragen ausbildet. Durch das Rückätzen der Siliziumnitridschicht wird die Oberseite der Füllung aus Polysilizium wieder freigelegt. Das Polysilizium wird abschließend wieder entfernt, so dass der

ursprüngliche Graben wieder erhalten wird, wobei am oberen Abschluss der Grabenwand benachbart zur Öffnung des Grabens zur Substratoberseite ein Kragen angeordnet ist. Die freigelegten Substratwände können nun durch Gasphasendotierung  
5 dotiert werden. Ein solcher Aufbau eines Grabenkondensators wird auch als "collar first"-Konzept bezeichnet.

Schwierigkeiten treten bei der Entfernung der Füllung aus Polysilizium auf. Die Füllung sollte sich einerseits vollständig entfernen lassen, andererseits sollte jedoch bei der Entfernung der Füllung das diese umgebende Halbleitersubstrat nicht geschädigt werden. Bisher löst man das Problem, indem der Graben zunächst vollständig mit einer Ätzstoppschicht ausgekleidet wird, beispielsweise mit einer Schicht aus  
15  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Nach dem Aufbau des Oxidkragens wird dann in einem ersten Schritt die Polysiliziumfüllung entfernt. In einem zweiten Schritt wird die Ätzstoppschicht entfernt, indem das Siliziumnitrid beispielsweise mit wässriger Phosphorsäure geätzt wird. Problematisch ist hierbei die Selektivität zwischen Ätzstoppschicht und dem Material des Kragens. Die Bedingungen für die Entfernung der Ätzstoppschicht müssen daher sehr genau eingehalten werden.

Bei der chemischen Gasphasenabscheidung wird eine keramische Schicht in der Weise hergestellt, dass gasförmige Vorläuferverbindungen einer Substratoberfläche zugeführt werden und diese Vorläuferverbindungen unter Ausbildung des die keramische Schicht bildenden keramischen Materials niedergeschlagen werden. Die Vorläuferverbindung enthält dabei zumindest ein  
30 Element, welches auch Bestandteil des keramischen Materials ist, sowie reaktive Gruppen, die eine Reaktion mit einer weiteren Vorläuferverbindung ermöglichen. Diese Gruppen können beispielsweise abgespalten und das in der Vorläuferverbindung enthaltene Element zum keramischen Material umgesetzt  
35 werden. Die chemische Gasphasenabscheidung kann im Wesentlichen auf zwei Wegen durchgeführt werden. Beim ersten Weg



werden die Vorläuferverbindungen aller im keramischen Material enthaltenen Elemente gleichzeitig der Substratoberfläche zugeführt. An der Substratoberfläche reagieren die Vorläuferverbindungen dann miteinander, wobei das keramische Material auf der Substratoberfläche niedergeschlagen wird. Mit diesem Verfahren lassen sich in relativ kurzer Zeit Schichtdicken bis hin zu mehreren Mikrometern erzeugen. Schwierigkeiten können durch Strömungsschwankungen im Reaktionsraum verursacht werden, welche zu Schwankungen in der Dicke der abgeschiedenen Schicht führen. Um eine möglichst gleichmäßige Schichtdicke zu erreichen, hat man daher die bei der Gasphasenabscheidung ablaufende Reaktion in mehrere Teilschritte zerlegt. Beim ALD-Verfahren wird jeweils nur die Vorläuferverbindung eines Elements unter Ausbildung einer monomolekularen Schicht auf der Substratoberfläche adsorbiert. Im Allgemeinen werden auf der Substratoberfläche reaktive Gruppen bereitgestellt, mit welcher die Vorläuferverbindung umgesetzt wird und dabei irreversibel gebunden wird. Der Vorteil des ALD-Verfahrens liegt darin, dass es selbstlimitierend verläuft und Schwankungen in den Prozessbedingungen nicht zu Schwankungen in der Dicke der auf dem Substrat abgeschiedenen Schicht führen. Durch den Aufbau der keramischen Schicht aus Monolagen ergibt sich jedoch der Nachteil, dass der Aufbau einer Schicht sehr zeitaufwändig ist. Ferner sollte die Ausbildung der monomolekularen Schicht jeweils möglichst vollständig sein. Um einen hohen Umsatz und damit eine hohe Homogenität der Schicht zu erhalten, erfolgt die Abscheidung der Vorläuferverbindungen daher meist bei höherer Temperatur, im Allgemeinen bei Temperaturen oberhalb von 300°C.

Um bei der Herstellung von Halbleiterelementen die thermische Belastung möglichst gering zu halten, sind verschiedene Niedertemperatur-ALD-Verfahren entwickelt worden. Diese Verfahren ermöglichen bei Temperaturen im Bereich der Raumtemperatur Abscheidungsraten, wie sie bei den zuvor verwendeten ALD-

Verfahren erst bei Temperaturen oberhalb von 300°C erreicht werden.

Bei einem ersten Niedertemperatur-ALD-Verfahren wird die  
5 Abscheidung der Vorläuferverbindungen unter Einwirkung eines  
Plasmas durchgeführt. Dabei wird ein Anteil der Moleküle  
zumindest einer der Vorläuferverbindungen mit Hilfe eines  
Plasmas zu Radikalen umgesetzt, welche eine sehr hohe Reakti-  
onsfähigkeit aufweisen. Diese Radikale reagieren bereits bei  
10 Raumtemperatur sehr rasch mit Gruppen, welche auf der Sub-  
stratoberfläche bereitgestellt werden. Ein solches Verfahren  
wird beispielsweise in der US 6,342,277 B1 beschrieben.

Ein weiteres Niedertemperatur-ALD-Verfahren nutzt einen Kata-  
15 lysator, um die Abscheidung der Vorläuferverbindung bereits  
bei Raumtemperatur mit ausreichend hoher Geschwindigkeit  
ablaufen lassen zu können. Der Katalysator nimmt dabei zwar  
an der Abscheidungsreaktion teil, erfährt selbst jedoch durch  
die Reaktion keine Veränderung. Ein solches Verfahren wird  
20 beispielsweise von J.W. Klaus, O. Sneh, A. W. Ott und S. M.  
George, Surface Review & Letters (1999), 435 - 448 beschrie-  
ben. Zum Aufbau einer aus Siliziumdioxid bestehenden kerami-  
schen Schicht wird den Vorläuferverbindungen  $\text{SiCl}_4$  bzw.  $\text{H}_2\text{O}$   
jeweils ein geringer Anteil Pyridin zugesetzt. Durch die  
25 katalytische Wirkung des Pyridins verläuft die Abscheidung  
der Vorläuferverbindungen auch bei Temperaturen im Bereich  
der Raumtemperatur mit hinreichend großer Geschwindigkeit ab.

Über eine Weiterentwicklung dieses Verfahrens wird von J.-E.  
30 Park, J.-H. Ku, J.-W. Lee, J.-H. Yang, K.-S. Chu, S.-H. Lee,  
M.-H. Park, N.-I. Lee, H.-K. Kang und K.-P. Suh (IEEE 2002)  
berichtet. Sie verwenden als siliziumhaltige Vorläuferverbin-  
dung  $\text{Si}_2\text{Cl}_6$  (HCD). Als Katalysator wird ebenfalls Pyridin  
eingesetzt, sowie Wasser als Vorläuferverbindung für Sauer-  
35 stoff. Auf diese Weise können bei hohen Abscheidungsraten  
gleichmäßige Schichten von hoher Qualität hergestellt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung strukturierter keramischer Schichten auf im Wesentlichen senkrecht zu einer Substratoberfläche angeordneten Flächen eines Reliefs bereitzustellen, mit welchem sich insbesondere  
5 auf einfache Weise ein Oxidkragen erzeugen lässt, wie er für die Herstellung von Grabenkondensatoren verwendet wird.

Diese Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren zur Herstellung strukturierter keramischer Schichten auf im Wesentlichen  
10 senkrecht zu einer Substratoberseite angeordneten Flächen eines Reliefs, mit den Schritten:

Bereitstellen eines Halbleitersubstrats, an dessen Oberseite ein Relief mit zur Substratoberseite im Wesentlichen senkrecht angeordneten Flächen ausgebildet ist;  
15 Füllen des Reliefs mit einem Lack bis zu einer bestimmten Relieftiefe, wobei eine Lackschicht erhalten wird;  
Abscheiden einer aus einem keramischen Material aufgebauten keramischen Schicht mit einem Niedertemperatur-ALD-Verfahren,  
20 wobei das Niedertemperatur-ALD-Verfahren bei einer Temperatur durchgeführt wird, die niedriger gewählt ist als die Erweichungstemperatur des Lacks;  
anisotropes Ätzen der keramischen Schicht, so dass die keramische Schicht nur an den senkrecht zur Substratoberseite  
angeordneten Flächen verbleibt und eine unter der keramischen  
25 Schicht angeordnete Oberseite der Lackschicht zumindest abschnittsweise freigelegt wird; und  
Entfernen der Lackschicht.

30 Das erfindungsgemäße Verfahren verwendet als Füllmaterial einen Lack. Derartige Lacke enthalten organische Materialien, meist organische Polymere, die sich unter milden Bedingungen rückstandsfrei von einer Substratoberfläche entfernen lassen, beispielsweise durch Ablösen mit einem geeigneten Lösungsmittel oder durch Veraschen mit einem Sauerstoffplasma. Wegen  
35 der milden Bedingungen tritt bei der Entfernung der Lack-

schicht keine Schädigung des Halbleitersubstrats auf. Lacke, die für das erfindungsgemäße Verfahren geeignet sind, werden bereits für die Herstellung von Halbleiterbauelementen verwendet, beispielsweise als Resist für die Herstellung von

5 Ätzmasken oder als Dielektrikum zwischen leitfähigen Schichten. Als Lacke können für das erfindungsgemäße Verfahren daher Materialien verwendet werden, wie sie bereits aus der Herstellung von Mikrochips bekannt sind. Die Lackschicht lässt sich mit üblichen Verfahren auftragen, beispielsweise

10 durch Aufschleudern und auch mit üblichen Verfahren wieder von der Substratoberfläche entfernen.

Um eine hohe thermische Belastung bei der Herstellung der strukturierten keramischen Schicht, wie zum Beispiel eines

15 Oxidkragens, zu vermeiden, die zu einer Zerstörung der Lackschicht führen würde, verwendet man zur Herstellung der strukturierten keramischen Schicht ein Niedertemperatur-ALD-Verfahren. Solche Niedertemperatur-ALD-Verfahren können bereits bei Raumtemperatur mit ausreichend hoher Abscheidungs-

20 rate durchgeführt werden, sodass bei der Abscheidung der keramischen Schicht keine Schädigung der Lackschicht befürchtet werden muss.

Unter einem keramischen Material wird ein anorganisches Dielektrikum verstanden, das sich in dünnen Schichten aufbringen lässt und als Isolator zwischen elektrisch leitfähigen

25 Schichten angeordnet werden kann. Im allgemeinen werden als keramische Materialien Metalloxide oder Metallnitride verwendet. Typische keramische Materialien, die sich für eine Verwendung im erfindungsgemäßen Verfahren eignen, sind Silizium-

30 oxid, Siliziumnitrid oder auch Aluminiumoxid.

Im Einzelnen wird so vorgegangen, dass zunächst in üblicher Weise ein Relief in einem Halbleitersubstrat erzeugt wird.

35 Dazu kann beispielsweise zunächst aus einem Maskenmaterial eine Maske auf der Oberseite des Halbleitersubstrats herge-

stellt werden und die durch die Maske vorgegebene Struktur anschließend durch einen Ätzprozess in das Halbleitersubstrat übertragen werden. Nachdem gegebenenfalls die zum Ätzen verwendete Maske entfernt wurde, wird das Relief bis zu einer

5 Relieftiefe mit Lack gefüllt, welche der Ausdehnung der herzustellenden strukturierten keramischen Schicht entspricht. Im Fall eines Grabenkondensators bleibt also der obere Abschnitt des Grabens frei, in welchem ein Kragen aufgebaut werden soll. Die Relieftiefe entspricht in diesem Fall der

10 unteren Kante des Kragens. Die Lackschicht dient als Füllmaterial bzw. als Maske, so dass nun im oberen Bereich eine Schicht aus einem keramischen Material abgeschieden werden kann. Dazu wird ein Niedertemperatur-ALD-Verfahren verwendet, wobei die bei der Abscheidung verwendete Temperatur niedriger

15 als die Erweichungstemperatur des Lacks gewählt wird. Erweicht der Lack während der Abscheidung des keramischen Materials, ist die untere Kante, welche durch den Abschluss der Lackschicht definiert ist, nicht mehr eindeutig festgelegt. Vorzugsweise wird die Abscheidung der keramischen Schicht

20 daher bei einer Temperatur durchgeführt, die zumindest 30 °C unterhalb der Erweichungstemperatur des Lacks liegt. Die Abscheidung des keramischen Materials erfolgt ganzflächig, das heißt nicht nur auf den senkrechten Flächen des Reliefs, sondern auch auf der Oberseite des Substrats bzw. auf der

25 Oberseite der Lackschicht. Diese im Wesentlichen parallel zur Oberseite des Substrats verlaufenden Anteile der keramischen Schicht werden anschließend durch einen anisotropen Ätzschritt wieder entfernt. Dabei wird auch die Oberseite der Lackschicht zumindest abschnittsweise wieder freigelegt. Die

30 Lackschicht kann dann aus dem unteren Abschnitt des Grabens bzw. des Reliefs wieder entfernt werden.

Bei der Entfernung der Lackschicht können sehr schonende Verfahren verwendet werden, die lediglich niedrigere Temperaturen

35 erfordern. Dadurch ist die thermische Belastung des Halbleitersubstrats gering. Ferner sind keine Ätzstoppschichten

erforderlich, wie sie bei einer Füllung aus Polysilizium vorgesehen werden müssen, um eine Schädigung des Halbleitersubstrats zu vermeiden.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst also zwei wesentliche Elemente. Zum ersten wird eine Lackschicht als Füllmaterial verwendet, die sich unter milden Bedingungen wieder entfernen lässt. Zum zweiten wird für die Herstellung der keramischen Schicht ein Niedertemperatur-ALD-Verfahren verwendet, sodass  
10 nur eine geringe thermische Belastung in Kauf genommen werden muss.

Für die Abscheidung der keramischen Schicht können an sich beliebige Niedertemperatur-ALD-Verfahren verwendet werden.

- 15 Geeignet ist beispielsweise ein Verfahren, bei welchem zumindest eine der Vorläuferverbindungen durch die Ausbildung von Radikalen aktiviert wird. Die erzeugten Radikale reagieren dann sehr rasch mit der auf der Substratoberfläche adsorbierten anderen Vorläuferverbindung. Dazu wird das Halbleitersubstrat  
20 zunächst in einem Reaktionsraum angeordnet und anschließend ein Zyklus durchgeführt mit mindestens den Schritten:

- 25 Einleiten zumindest einer ersten Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum, wobei die erste Vorläuferverbindung auf der Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;  
Entfernen überschüssiger ungebundener erster Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum;  
Einleiten zumindest einer zweiten Vorläuferverbindung in den  
30 Reaktionsraum, wobei die zweite Vorläuferverbindung auf der Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;  
Entfernen von ungebundener zweiter Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum;  
wobei aus zumindest einem Anteil der ersten Vorläuferverbindung und/oder zumindest einem Anteil der zweiten Vorläufer-  
35 verbindung Radikale erzeugt werden, welche mit der auf der

Substratoberfläche adsorbierten Vorläuferverbindung zum keramischen Material reagieren; wobei der Zyklus bis zum Erreichen einer gewünschten Schichtdicke der keramischen Schicht wiederholt wird.

5

Für die Herstellung des keramischen Materials sind zumindest zwei Vorläuferverbindungen erforderlich. Im Fall eines Metalloxids umfasst beispielsweise die erste Vorläuferverbindung eine Metallverbindung, während die zweite Vorläuferverbindung Sauerstoff enthält. Soll die Oxidschicht mehrere Metalle umfassen, wird der Zyklus um eine entsprechende Anzahl an Schritten erweitert, in welchen entsprechende Vorläuferverbindungen in den Reaktionsraum eingeleitet werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich also auch strukturierte keramische Schichten darstellen, die beispielsweise aus Mischoxiden bestehen, also mehr als ein Metall umfassen. Das Mischoxid kann dabei über das gesamte Volumen der keramischen Schicht eine homogene Zusammensetzung aufweisen. Es ist aber auch möglich, die einzelnen Metalloxide schichtweise abzuscheiden, sodass ein Schichtstapel erhalten wird, der beispielsweise Schichten aus Aluminiumoxid und Schichten aus Siliziumdioxid umfasst.

10

15

20

25

30

35

Die Radikale werden bevorzugt mit Hilfe eines Plasmas erzeugt. Die Radikale können dabei im gesamten Reaktionsraum erzeugt werden oder es kann auch eine vom Reaktionsraum getrennte Kammer für die Erzeugung der Radikale vorgesehen werden, aus welcher die Radikale dann dem Reaktionsraum zugeführt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren kann also mit üblichen ALD-Anlagen durchgeführt werden, die über eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas verfügen. Die Erzeugung des Plasmas wird ebenfalls mit üblichen Verfahren durchgeführt. Die Bedingungen werden dabei so gewählt, dass eine ausreichende Anzahl an Radikalen erzeugt wird, um auch bei niedrigen Temperaturen eine ausreichend hohe Abscheidungsrate der Vorläuferverbindung zu erreichen, sodass in für eine

industrielle Anwendung geeigneten Zeiträumen eine durchgehende monomolekulare Schicht der jeweiligen Vorläuferverbindung ausgebildet wird.

- 5 Ein einzelner Schritt des oben erwähnten Zyklus, in welchem eine Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum eingeleitet und niedergeschlagen wird, kann auch weiter unterteilt werden. Die Abscheidung der jeweiligen Vorläuferverbindung erfolgt in diesem Fall in einem Zyklus mit den Schritten:

10

Einleiten der einen Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum; Erzeugen von Radikalen aus zumindest einem Anteil der einen Vorläuferverbindung, wobei die Radikale mit der auf der Substratoberfläche abgeschiedenen anderen Vorläuferverbindung

15

reagieren; und

Entfernen von ungebundener Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum,

wobei der Zyklus mindestens einmal wiederholt wird.

20

Mit der durch Radikale unterstützten Niedertemperatur-ALD-Verfahren können eine große Anzahl von keramischen Materialien abgeschieden werden, wie beispielsweise Oxide oder Nitride. Insbesondere bevorzugt wird dieses Verfahren verwendet, wenn die keramische Schicht aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aufgebaut ist.

25

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Niedertemperatur-ALD-Verfahren unter Verwendung eines Katalysators durchgeführt. Auch bei diesem katalytischen ALD-Verfahren wird das Halbleitersubstrat zunächst in einem Reaktionsraum angeordnet. Anschließend wird ein Zyklus durchgeführt, welcher zumindest die folgenden Schritte umfasst:

30

Einleiten zumindest einer ersten Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum, wobei die erste Vorläuferverbindung auf der Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;

35



Entfernen überschüssiger ungebundener erster Vorläuferverbindungen aus dem Reaktionsraum;

Einleiten zumindest einer zweiten Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum, wobei die zweite Vorläuferverbindung auf der Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;

Entfernen von ungebundener zweiter Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum;

wobei der ersten Vorläuferverbindung und/oder der zweiten Vorläuferverbindung ein Katalysator zugesetzt wird.

Die Abscheidung kann sowohl in der Weise geführt werden, dass nur die Abscheidung einer der Vorläuferverbindungen durch einen Katalysator katalysiert wird, wie auch die Abscheidung sämtlicher Vorläuferverbindungen durch einen Katalysator katalysiert werden kann. Auch hier gilt, dass das keramische Material beispielsweise im Falle eines Oxids nur ein einzelnes Metall enthalten kann. Es ist aber auch möglich, mehrere Metalle im keramischen Material vorzusehen. Das keramische Material ist in diesem Fall also als Mischoxid ausgebildet.

Als Katalysator wird eine Lewis-Base verwendet, vorzugsweise eine aromatische Stickstoffbase. Bei der aromatischen Stickstoffbase ist der Stickstoff dabei bevorzugt im Ring angeordnet. Als aromatische Stickstoffbase wird besonders bevorzugt Pyridin eingesetzt.

Auch mit dem katalytischen Niedertemperatur-ALD-Verfahren lässt sich eine große Anzahl keramischer Materialien abscheiden, wie Metallnitride oder Metalloxide. Insbesondere bevorzugt ist die keramische Schicht aus  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder einer Kombination dieser Verbindungen aufgebaut. Wird eine Kombination dieser Verbindungen verwendet, kann die keramische Schicht sowohl homogen aufgebaut sein, wie auch als Stapel aus Schichten aufgebaut sein, die jeweils in sich homogen sind.

Um den Abschluss der strukturierten keramischen Schicht zu definieren, wird das Relief nur bis zur Unterkante der herzustellenden strukturierten keramischen Schicht mit dem Lack gefüllt. Dabei wird bevorzugt in der Weise vorgegangen, dass  
5 das Relief zunächst vollständig mit dem Lack gefüllt wird und anschließend die Lackschicht bis zu der bestimmten Relieftiefe entfernt wird. Auf diese Weise kann die Relieftiefe mit hoher Genauigkeit gesteuert werden.

10 Um in allen Ausnehmungen des Reliefs eine gleichmäßige Relieftiefe einstellen zu können, wird in einer bevorzugten Ausführungsform nach dem vollständigen Füllen des Reliefs mit dem Lack die erhaltene Lackschicht zunächst planarisiert. Dazu werden übliche CMP-Verfahren eingesetzt (CMP = Chemical  
15 Mechanical Polishing).

Um die Lackschicht wieder bis zur vorgesehenen Relieftiefe abzutragen, wird der Lack bevorzugt mit einem sauerstoffhaltigen Plasma entfernt. Bei diesem trockenchemischen Prozess  
20 entstehen nur gasförmige Produkte, die sich leicht aus dem Reaktionsraum abführen lassen, also auch keine Kontamination des Substrats bzw. des Reaktionsraums bewirken.

25 Um Veränderungen der Lackschicht während der Prozessierung zu begegnen, wird die Lackschicht vor der Abscheidung der keramischen Schicht bevorzugt ausgeheizt. Dabei werden noch im Lack enthaltene Lösungsmittelreste sowie weitere flüchtige Bestandteile des Lacks ausgetrieben.

30 Um die Qualität der strukturierten keramischen Schicht zu verbessern, wird nach der Entfernung der Lackschicht bevorzugt ein Tempersschritt zur Verdichtung der keramischen Schicht durchgeführt. Bei diesem Tempersschritt können reaktive Gruppen, die noch aus den Vorläuferverbindungen im keramischen Material verblieben sind, entfernt werden. Die keramische Schicht wird durch den Tempersschritt weiter verdichtet,  
35

so dass Leckströme, die im fertig gestellten Kondensator auftreten, auf ein sehr geringes Niveau abgesenkt werden können.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders für die Herstellung eines Oxidkragens für einen Grabenkondensator. Für die Herstellung derartiger Grabenkondensatoren werden daher für das Relief im Substrat Gräben mit einem hohen Aspektverhältnis ausgebildet. Das Aspektverhältnis derartiger
- 10 Gräben ist bevorzugt größer als 5 : 1, insbesondere größer als 50 : 1 gewählt.

- Wie bereits weiter oben erläutert, ist ein wesentliches Merkmal des erfindungsgemäßen Verfahrens die Verwendung eines
- 15 Niedertemperatur-ALD-Verfahrens. Um einer Veränderung der Lackschicht zu begegnen, wird daher die Abscheidung der keramischen Schicht bevorzugt bei einer Temperatur von weniger als 100°C durchgeführt. Insbesondere bevorzugt erfolgt die Abscheidung der keramischen Schicht bei Raumtemperatur.

- 20 Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher erläutert. Gleiche Gegenstände sind dabei mit gleichen Bezugszeichen versehen. Im Einzelnen zeigt:

25 Fig. 1 eine schematische Darstellung der Arbeitsschritte, welche bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Oxidkragens durchlaufen werden;

30 Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung eines katalytischen Niedertemperatur-ALD-Verfahrens;

35 Fig. 3 eine schematische Darstellung der Prozessführung für das katalytische ALD-Verfahren;

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung eines plasmagestützten ALD-Verfahrens;

5 Fig. 5 eine schematische Darstellung des Prozessablaufs für das plasmagestützte ALD-Verfahren.

Fig. 1 zeigt schematisch die wesentlichen Arbeitsschritte, die beim erfindungsgemäßen Verfahren bei der Herstellung eines Oxidkragens in einem Graben durchlaufen werden. Die Darstellung zeigt jeweils eine seitliche Ansicht eines Schnitts durch ein Halbleitersubstrat 1, in welches ein Graben 2 eingebracht ist. Das Halbleitersubstrat 1 ist an seiner Oberseite mit einer Deckschicht 3 abgedeckt, die beispielsweise aus Siliziumnitrid aufgebaut ist. Dieser Ausgangszustand ist in Fig. 1-1 dargestellt. Der Graben 2 wird nun zunächst mit einem Lack 4 vollständig gefüllt. Wie in Fig. 1-2 dargestellt, schließt die Lackschicht dabei im Allgemeinen nicht mit der Oberkante des Grabens 2 ab, sondern es sind auch Anteile der Lackschicht 4 auf der Oberseite des Halbleitersubstrats 1 bzw. der Deckschicht 3 angeordnet. Um beim Zurückätzen einen gleichmäßigen Abtrag der Lackschicht 4 bis zu einer vorgesehenen Relieftiefe zu erreichen, wird die Lackschicht 4 zunächst planarisiert. Dies kann mit einem üblichen CMP-Verfahren erfolgen. Bei der in Fig. 1-3 dargestellten Anordnung ist die Lackschicht 4 bis auf die Oberseite der Deckschicht 3 abgetragen. Die Planarisierung der Lackschicht 4 kann jedoch auch schon früher abgebrochen werden, so dass auch eine gleichmäßig dicke Lackschicht auf der Oberseite der Deckschicht 3 verbleibt. Die Lackschicht 4 wird nun mit einem Sauerstoffplasma isotrop bis zu einer Relieftiefe 5 zurückgeätzt. Unterhalb der Relieftiefe 5 wird die Wand 2a des Grabens 2 von der Lackschicht 4 bedeckt, während oberhalb der Relieftiefe 5 die Grabenwand 2b freiliegt. Auf den freiliegenden Flächen wird nun, wie in Fig. 1-5 dargestellt, eine konforme Oxidschicht 6 abgeschieden. Dazu wird erfindungsge-

mäß ein Niedertemperatur-ALD-Verfahren eingesetzt. Zur Ausbildung des Oxidkragens werden nun in einem anisotropen Ätzschritt Anteile der Oxidschicht 6 entfernt, welche auf der Oberseite der Deckschicht 3 bzw. der Oberseite der Lack-

5 schicht 4 angeordnet sind. Nach dem Ätzschritt verbleiben, wie in Fig. 1-6 dargestellt, nur die senkrechten Anteile der Oxidschicht 6 an den Wänden 2b des Grabens 2. Der untere Abschluss der senkrechten Abschnitte der Oxidschicht 6 wird dabei durch die Oberseite der Lackschicht 4 definiert. Nach-

10 dem auf der Oberseite der Lackschicht 4 die keramische Schicht 6 entfernt wurde, kann die Lackschicht 4 entfernt werden. Dazu kann beispielsweise ein sauerstoffhaltiges Plasma verwendet werden, durch welches die Bestandteile der Lack-

15 schicht 4, im Allgemeinen ein organisches Polymer, in gasförmige Bestandteile überführt wird. Nach Entfernung der Lackschicht 4 ist der Graben 2, wie in Fig. 1-7 dargestellt, in seinem unteren Abschnitt näher, so dass die Grabenwände freiliegen. Im oberen Abschnitt des Grabens 2 ist ein Kragen 7

20 angeordnet. Die weitere Herstellung des Grabenkondensators wird in üblicher Weise durchgeführt. So kann beispielsweise der untere Abschnitt des Grabens 2 durch ein Ätzverfahren aufgeweitet werden (wet bottle etch). Durch Gasphasendotierung kann ein dotierter Bereich 8 erzeugt werden, welcher im fertig gestellten Kondensator die Bottomelektrode bildet.

25 Dieser beispielhafte Aufbau ist in Fig. 1-8 dargestellt. Der Graben 2 weist in seinem oberen Abschnitt einen Kragen 7 aus einem keramischen Material auf. In seinem unteren Abschnitt ist der Graben 2 aufgeweitet worden. In den an die Grabenwand angrenzenden Bereichen 8 ist eine Dotierung eingeführt worden.

30 Die Fertigstellung des Grabenkondensators verläuft in üblicher Weise. Im Graben 2 wird zunächst ein Dielektrikum in Form einer dünnen Schicht abgeschieden und anschließend eine Gegenelektrode erzeugt, indem der verbliebene Hohlraum des Grabens 2 beispielsweise mit Polysilizium aufgefüllt wird

35 (nicht dargestellt).

Fig. 2 zeigt schematisch die wesentlichen Bestandteile einer Vorrichtung für die Abscheidung einer keramischen Schicht durch ein katalytisches Niedertemperatur-ALD-Verfahren. In einem Reaktionsraum 9 ist ein Halbleitersubstrat 10 angeordnet, an dessen Oberseite ein Relief eingebracht ist, beispielsweise in Form von Gräben. Der Reaktionsraum 9 kann auch mit einer Heizung (nicht dargestellt) ausgestattet sein, mit welchem das Halbleitersubstrat 10 auf die gewünschte Temperatur geheizt werden kann. Es können übliche Heizvorrichtungen verwendet werden. So kann die Vorrichtung für die Befestigung des Halbleitersubstrats 10 mit einer Heizung versehen sein. Es ist aber auch möglich, Lampen vorzusehen, sodass durch Bestrahlen mit Licht das Halbleitersubstrat auf die gewünschte Temperatur erhitzt werden kann. Der Reaktionsraum 9 kann mit Hilfe einer Pumpe 11 evakuiert werden, welche über ein erstes Ventil 12 mit dem Reaktionsraum 9 in Verbindung gebracht bzw. von diesem getrennt werden kann. Über eine Zuleitung 13 können Vorläuferverbindungen dem Reaktionsraum 9 zugeführt werden. Dazu sind Vorratsbehälter für die erste Vorläuferverbindung 14, die zweite Vorläuferverbindung 15 und den Katalysator 16 vorgesehen. Diese Vorratsbehälter können über zweite bis vierte Ventile 17, 18, 19 mit der Zuleitung 13 in Verbindung geschaltet werden. In einer Mischkammer 20 können die einzelnen Komponenten vermischt werden, ehe sie anschließend in den Reaktionsraum 9 eingeleitet werden.

Der Ablauf der Abscheidung wird anhand von Fig. 3 erläutert. Dabei sind jeweils die Öffnungszustände des ersten bis vierten Ventils 12, 17, 18, 19 dargestellt. Der Zustand 1 entspricht dabei einem geöffneten Ventil, während der Zustand 0 einem geschlossenen Ventil entspricht. Auf der X-Achse ist jeweils die Zeit aufgetragen. Die Darstellung umfasst einen Zyklus. Fig. 3-1 entspricht dabei dem Schaltungszustand des Ventils 12, Fig. 3-2 dem Schaltungszustand des Ventils 17, Fig. 3-3 dem Schaltungszustand des Ventils 18 und Fig. 3-4 dem Schaltungszustand des Ventils 19.

Zu Beginn eines Zyklus wird der Reaktionsraum 9 zunächst evakuiert, das heißt das Ventil 12 wird geöffnet, so dass die Pumpe 11 in Verbindung mit dem Reaktionsraum 9 steht. Nachdem das Ventil 12 geschlossen wurde, werden die Ventile 17 und 19 geöffnet, so dass erste Vorläuferverbindung aus dem Vorratsbehälter 14 und Katalysator aus dem Vorratsbehälter 16 in die Zuleitung 13 strömen können und in der Mischkammer 20 vermischt werden. Anschließend strömt die Mischung in den Reaktionsraum 9, wobei die erste Vorläuferbindung auf der Oberfläche des Substrats 10 adsorbiert wird. Die Ventile 17 und 19 werden nun wieder geschlossen und das Ventil 12 geöffnet, so dass nicht adsorbierte erste Vorläuferverbindung sowie Katalysator aus dem Reaktionsraum 9 abgepumpt werden. Ventil 12 wird nun geschlossen und Ventil 18 sowie Ventil 19 geöffnet. Es strömt nun zweite Vorläuferverbindung aus dem Vorratsgefäß 15 sowie Katalysator aus dem Vorratsgefäß 16 in die Zuleitung 13 und werden in der Mischkammer 20 vermischt, ehe sie in den Reaktionsraum 9 eingeleitet werden. Die zweite Vorläuferverbindung kann sich nun auf der Oberfläche des Substrats 10 niederschlagen, wo sie unter Wirkung des Katalysators mit der zuvor abgeschiedenen ersten Vorläuferverbindung zum keramischen Material reagiert. Dabei wird ein einzelner Zyklus abgeschlossen. Zum Beginn des nächsten Zyklus wird nun Ventil 18 und Ventil 19 wieder verschlossen und Ventil 12 geöffnet, um ungebundene zweite Vorläuferverbindung sowie den Katalysator aus dem Reaktionsraum 9 zu entfernen.

Bei dem anhand der Figuren 2 und 3 erläuterten Verfahren wurde der Reaktionsraum zwischen den einzelnen Fertigungsschritten jeweils evakuiert, um überschüssige Vorläuferverbindung zu entfernen. Als Alternative kann der Reaktionsraum zwischen den einzelnen Fertigungsschritten auch mit einem inerten Spülgas, z.B. Stickstoffgas, gespült werden. Dies ist insbesondere bei größeren Anlagen, wie sie in der Produktion eingesetzt werden, vorteilhaft, da sich auf diese Weise nicht abreagierte Vorläuferverbindungen sehr einfach vollständig

aus dem Reaktionsraum entfernen lassen, indem die Spülzeit entsprechend angepasst wird. Besonders vorteilhaft werden beim Spülen mit einem Spülgas Druckschwankungen im Reaktionsraum vermieden. Die Abscheidung der keramischen Schicht wird dabei in der Weise geführt, dass in allen Fertigungsschritten annähernd der gleiche Druck im Reaktionsraum 10 herrscht. Das Spülgas wird dann durch Einleiten der Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum verdrängt. Es versteht sich jedoch, dass der Spülschritt auch in der Weise geführt werden kann, dass zum Abschluss des Spülschrittes das restliche Spülgas durch Evakuieren aus dem Reaktionsraum 10 entfernt wird und erst dann die jeweilige Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum 10 eingeführt wird.

Eine weitere Möglichkeit, die keramische Schicht bei niedrigen Temperaturen abzuscheiden, besteht darin, die Abscheidung durch Erzeugung von Radikalen zu beschleunigen. Die wesentlichen Bestandteile einer für die Durchführung eines plasma-gestützten ALD-Verfahrens geeignete Vorrichtung sind schematisch in Fig. 4 dargestellt. In einem Reaktionsraum 9 ist wiederum ein Halbleitersubstrat 10 angeordnet. Auch hier kann, wie bei Fig. 2 erläutert, eine Heizung (nicht dargestellt) vorgesehen werden, mit welcher das Halbleitersubstrat 10 auf die gewünschte Temperatur erhitzt werden kann. Eine Pumpe 11 steht über ein erstes Ventil 12 mit dem Reaktionsraum 9 in Verbindung. Je nach Schaltungszustand des Ventils 12 kann die Pumpe 11 mit dem Reaktionsraum verbunden oder von diesem getrennt werden. Über eine Zuleitung 13 können erste Vorläuferverbindung und zweite Vorläuferverbindung dem Reaktionsraum 9 zugeführt werden. Dazu sind entsprechende Vorratsbehälter 21 für die erste Vorläuferbindung bzw. 22 für die zweite Vorläuferverbindung vorgesehen. Über entsprechende Ventile 23, 24 können die Vorratsbehälter 21 bzw. 22 mit der Zuleitung 13 in Verbindung gebracht werden. Des Weiteren ist eine Plasmakammer 23 zur Erzeugung eines Plasmas vorgesehen.



Aus der Plasmakammer 23 wird das erzeugte Plasma über die Zuleitung 24 dem Reaktionsraum 9 zugeführt.

Der Verfahrensablauf wird unter Bezugnahme auf die Fig. 5 näher erläutert. Fig. 5-1 zeigt dabei den Schaltungszustand des Ventils 12, Fig. 5-2 den Schaltungszustand des Ventils 23, Fig. 5-3 den Schaltungszustand des Ventils 24 und Fig. 5-4 den Schaltungszustand einer Hochfrequenzspule, mit welcher in der Plasmakammer 23 ein Plasma erzeugt wird. Dargestellt ist jeweils ein Zyklus. Ein Zustand 1 entspricht einem geöffneten Ventil bzw. einer eingeschalteten RF-Spule; der Zustand 0 entspricht einem geschlossenen Ventil bzw. einer ausgeschalteten RF-Spule.

Zunächst wird der Reaktionsraum 9 evakuiert, indem das Ventil 12 geöffnet wird, so dass der Reaktionsraum 9 mit der Pumpe 11 in Verbindung steht. Ventil 12 wird geschlossen und Ventil 23 geöffnet, so dass erste Vorläuferverbindung aus dem Vorratsgefäß 21 über die Zuleitung 13 in den Reaktionsraum 9 einströmen kann. Gleichzeitig wird die RF-Spule der Plasmakammer 23 eingeschaltet, so dass ein Plasma erzeugt wird. Durch das Plasma entstehen aus der ersten Vorläuferverbindung Radikale, welche an der Oberfläche des Substrats 10 adsorbiert werden und mit dort bereitstehenden Gruppen reagieren. Ventil 23 wird nun geschlossen, die RF-Spule der Plasmakammer 23 ausgeschaltet und Ventil 12 geöffnet, um ungebundene erste Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum 9 zu entfernen. Im nächsten Schritt wird das Ventil 12 erneut geschlossen und Ventil 24 geöffnet, so dass zweite Vorläuferverbindung aus dem Vorratsbehälter 22 über die Zuleitung 13 in den Reaktionsraum 9 eingeleitet wird. Gleichzeitig wird die RF-Spule der Plasmakammer 23 eingeschaltet, so dass erneut ein Plasma erzeugt wird. Die aus der zweiten Vorläuferverbindung entstandenen Radikale reagieren mit den auf der Oberfläche des Substrats 10 adsorbierten Molekülen der ersten Vorläuferverbindung, so dass ein keramisches Material entsteht. Damit ist

ein einzelner Zyklus abgeschlossen. Zum Beginn des nächsten Zyklus wird Ventil 23 geschlossen, die RF-Spule der Plasmakammer 23 ausgeschaltet und Ventil 12 geöffnet, so dass ungebundene zweite Vorläuferverbindungen aus dem Reaktionsraum 9 entfernt wird.

Die in den Figuren 3 und 5 gezeigten Zyklen werden jeweils so oft wiederholt, bis die gewünschte Dicke der keramischen Schicht erreicht ist.

Auch hier kann wie bei den Figuren 2 und 3 erläutert, das Abpumpen nicht abreagierter Vorläuferverbindungen durch einen Spülschritt ersetzt werden, in welchem der Reaktionsraum 10 jeweils mit einem inerten Spülgas, wie Stickstoff oder einem Edelgas gespült wird. Auch hier können auf diese Weise Druckschwankungen im Reaktionsraum 10 vermieden werden.

---

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung strukturierter keramischer Schichten auf im Wesentlichen senkrecht zu einer Substrat-  
5 oberfläche angeordneten Flächen eines Reliefs, mit den Schritten:

10 Bereitstellen eines Halbleitersubstrats, an dessen Oberseite ein Relief mit zur Substratoberseite im Wesentlichen senkrecht angeordneten Flächen ausgebildet ist;

Füllen des Reliefs mit einem Lack bis zu einer bestimmten Relieftiefe, wobei eine Lackschicht erhalten wird;

15 Abscheiden einer aus einem keramischen Material aufgebauten keramischen Schicht mit einem Niedertemperatur-ALD-Verfahren, wobei das Niedertemperatur-ALD-Verfahren bei einer Temperatur durchgeführt wird, die niedriger liegt als die Erweichungs-  
20 temperatur des Lacks;

anisotropes Ätzen der keramischen Schicht, so dass die keramische Schicht an den senkrecht zur Substratoberseite angeordneten Flächen verbleibt und eine unter der keramischen Schicht angeordnete Oberseite der Lackschicht zumindest ab-  
25 schnittsweise freigelegt wird; und

Entfernen der Lackschicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Abscheidung der keramischen Schicht mit einem durch Radikale gestützten ALD-  
30 Verfahren erfolgt, bei welchem das Halbleitersubstrat in einem Reaktionsraum angeordnet ist, und ein Zyklus durchgeführt wird, mit mindestens den Schritten:

Einleiten zumindest einer ersten Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum, wobei die erste Vorläuferverbindung auf der Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;

- 5 Entfernen von ungebundener erster Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum;

Einleiten zumindest einer zweiten Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum, wobei die zweite Vorläuferverbindung auf der  
10 Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;

Entfernen von ungebundener zweiter Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum;

- 15 wobei aus zumindest einem Anteil der ersten Vorläuferverbindung und/oder zumindest einem Anteil der zweiten Vorläuferverbindung Radikale erzeugt werden, welche mit der auf der Substratoberfläche adsorbierten Vorläuferverbindung zum keramischen Material reagieren; und

20 der Zyklus bis zum Erreichen einer gewünschten Schichtdicke der keramischen Schicht wiederholt wird.

- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Radikale mit einem Plasma erzeugt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei die Abscheidung der Vorläuferverbindung in einem Zyklus erfolgt, mit den Schritten:

30 Einleiten der Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum;

Erzeugen von Radikalen aus zumindest einem Anteil der Vorläuferverbindung, wobei die Radikalen der auf der Substratoberfläche abgeschiedenen Vorläuferverbindung reagieren; und  
35

Entfernen von ungebundener Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum,

wobei der Zyklus mindestens einmal wiederholt wird.

5

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die keramische Schicht aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aufgebaut ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die keramische Schicht mit einem katalytischen ALD-Verfahren erzeugt wird, bei welchem das Halbleitersubstrat in einem Reaktionsraum angeordnet wird, und ein Zyklus durchgeführt wird mit mindestens den Schritten:

10

15 Einleiten zumindest einer ersten Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum, wobei die erste Vorläuferverbindung auf der Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;

Entfernen überschüssiger ungebundener erster Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum;

20

Einleiten zumindest einer zweiten Vorläuferverbindung in den Reaktionsraum, wobei die zweite Vorläuferverbindung auf der Oberfläche des Substrats adsorbiert wird;

25

Entfernen von ungebundener zweiter Vorläuferverbindung aus dem Reaktionsraum;

wobei der ersten Vorläuferverbindung und/oder der zweiten Vorläuferverbindung Katalysator zugesetzt wird, welcher die Reaktion der einen Vorläuferverbindung mit der anderen Vorläuferverbindung katalysiert.

30

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Katalysator eine aromatische Stickstoffbase ist.

35

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die aromatische Stickstoffbase Pyridin ist.

5 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die keramische Schicht aus  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder einer Kombination dieser Verbindungen aufgebaut ist.

10 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Relief zunächst vollständig mit dem Lack gefüllt wird und anschließend die Lackschicht bis zu der bestimmten Relieftiefe entfernt wird.

15 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem vollständigen Füllen des Reliefs mit dem Lack die Lackschicht planarisiert wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Lack mit einem sauerstoffhaltigen Plasma entfernt wird.

20 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lackschicht vor der Abscheidung der keramischen Schicht ausgeheizt wird.

25 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach der Entfernung der Lackschicht ein Tempersschritt zur Verdichtung der keramischen Schicht durchgeführt wird.

30 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für das Relief im Substrat Gräben mit einem hohen Aspektverhältnis ausgebildet werden.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abscheidung der keramischen Schicht bei einer Temperatur von weniger als  $100^\circ\text{C}$  durchgeführt wird.

---

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gräben funktional zu Kondensatoren ausgebildet werden.

---

Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung eines Oxidkragens für einen Grabenkondensator

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung strukturierter keramischer Schichten auf im Wesentlichen senkrecht zu einer Substratoberseite angeordneten Fläche eines Reliefs. Eine derartige strukturierte keramische Schicht ist beispielsweise ein Oxidkragen für einen Grabenkondensator.

10

Der Oxidkragen wird erzeugt, indem ein Graben zunächst in seinem unteren Abschnitt mit einem Lack aufgefüllt wird und anschließend mit Hilfe eines Niedertemperatur-ALD-Verfahrens eine Oxidschicht auf den freiliegenden Flächen des Substrats

15

erzeugt wird. Durch anisotropes Ätzen verbleiben nur diejenigen Anteile der keramischen Schicht, welche an den senkrechten Wänden des Grabens angeordnet sind. Anschließend kann die Lackfüllung beispielsweise mit einem Sauerstoffplasma entfernt werden.



## Bezugszeichenliste

|    |  |
|----|--|
| 1  | Halbleitersubstrat                         |
| 2  | Gräben                                     |
| 3  | Deckschicht                                |
| 4  | Lack                                       |
| 5  | Relieftiefe                                |
| 6  | Oxidschicht                                |
| 7  | Kragen                                     |
| 8  | dotierter Bereich                          |
| 9  | Reaktionsraum                              |
| 10 | Halbleitersubstrat                         |
| 11 | Pumpe                                      |
| 12 | erstes Ventil                              |
| 13 | Zuleitung                                  |
| 14 | Vorratsbehälter erste Vorläuferverbindung  |
| 15 | Vorratsbehälter zweite Vorläuferverbindung |
| 16 | Vorratsbehälter Katalysator                |
| 17 | zweites Ventil                             |
| 18 | drittes Ventil                             |
| 19 | viertes Ventil                             |
| 20 | Mischkammer                                |
| 21 | Vorratsbehälter erste Vorläuferverbindung  |
| 22 | Vorratsbehälter zweite Vorläuferverbindung |
| 23 | Plasmakammer                               |
| 24 | Zuleitung                                  |

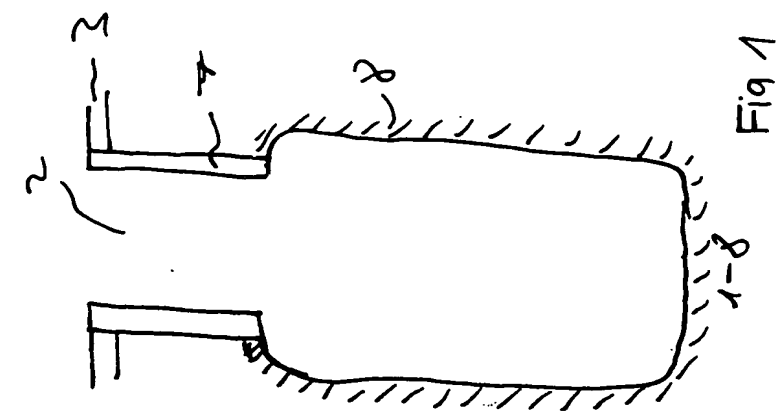
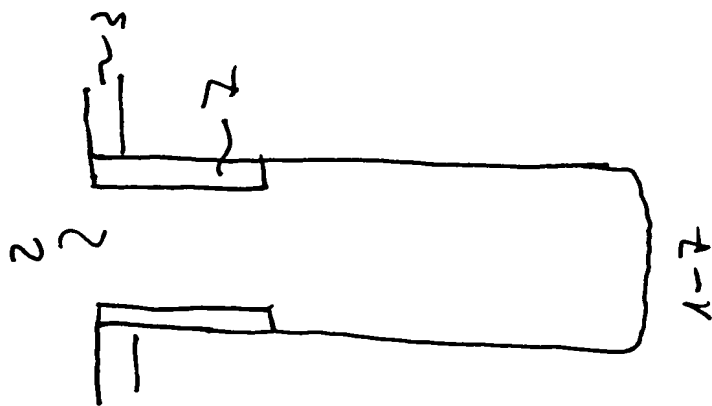
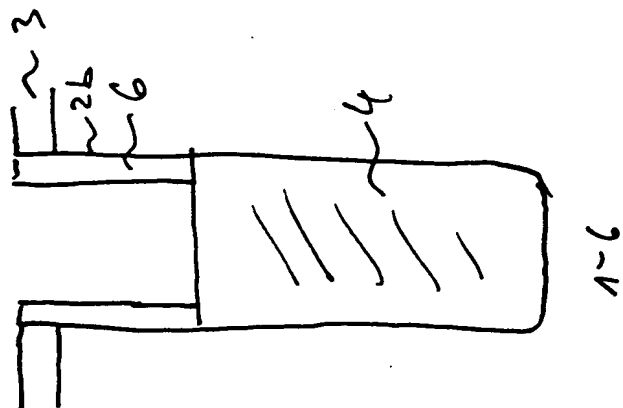
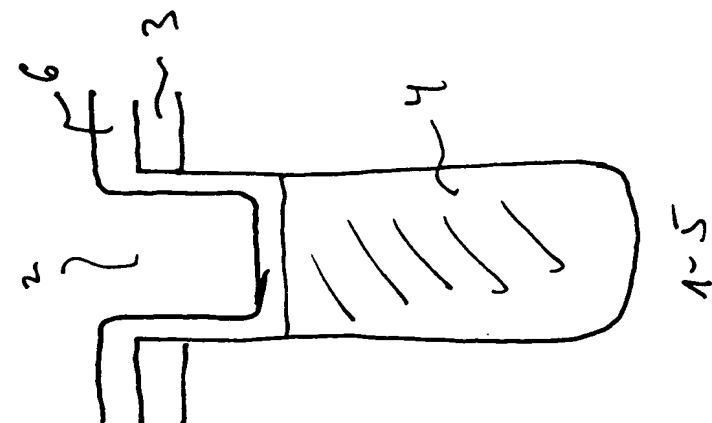
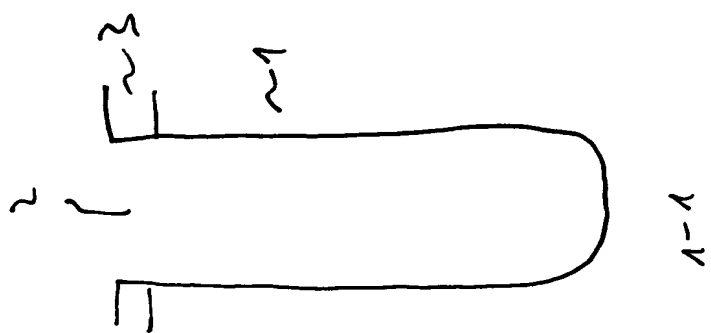
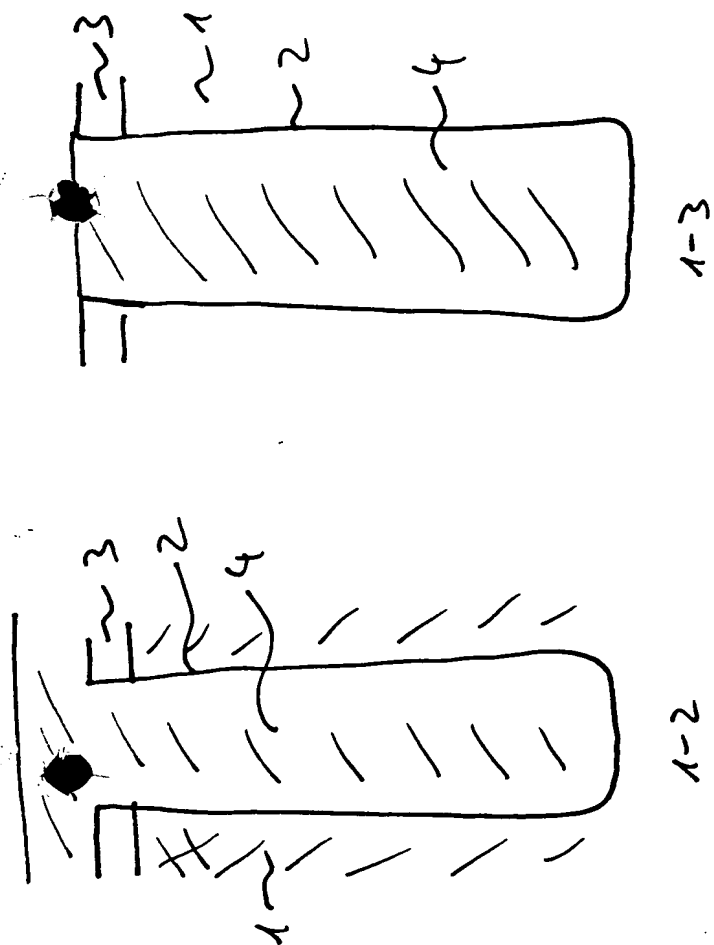
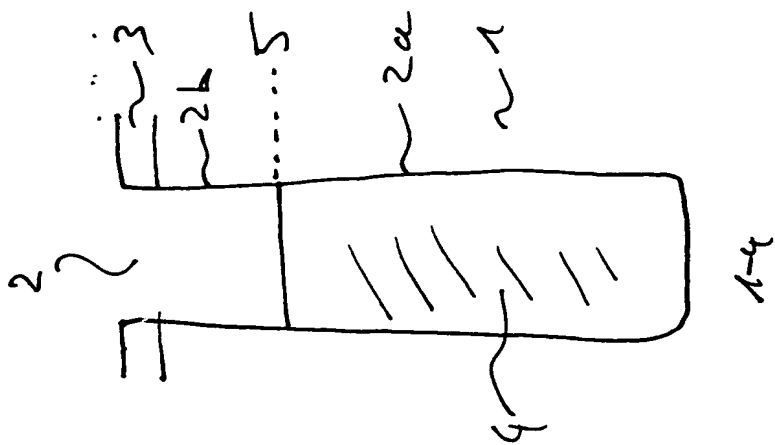


Fig 1

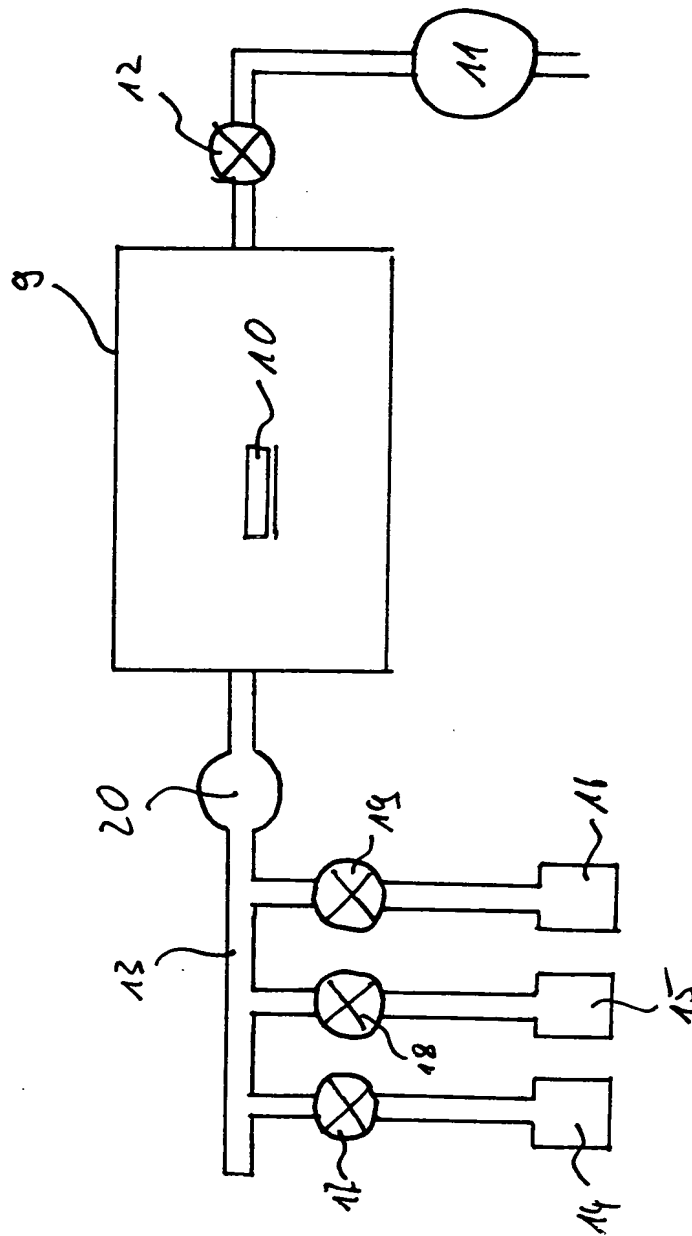
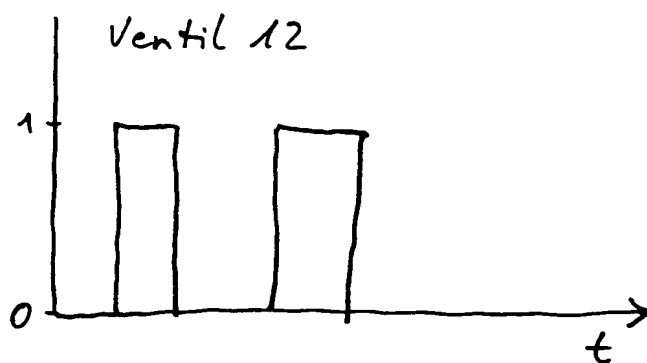
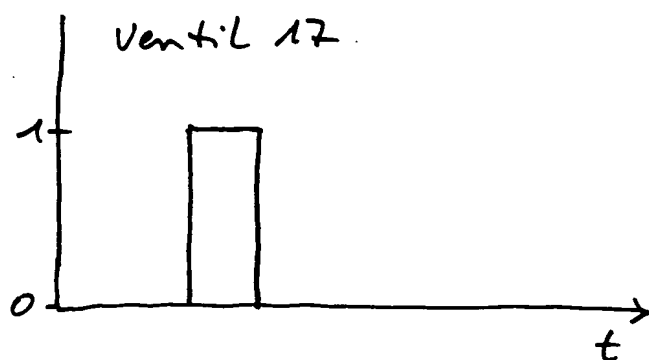


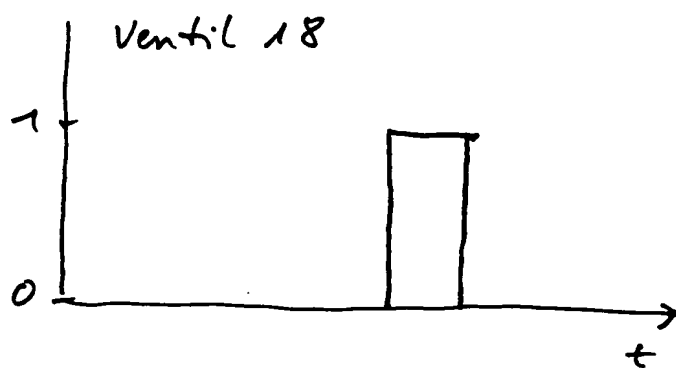
Fig. 2



3-1



3-2



3-3



3-4

Fig. 3

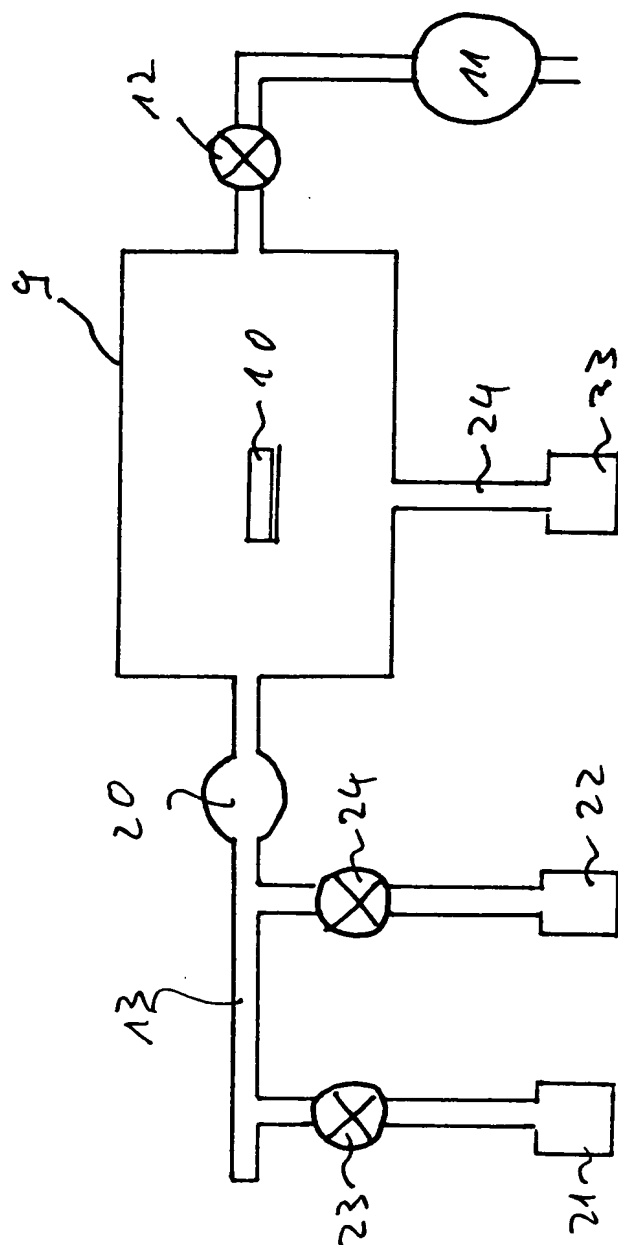
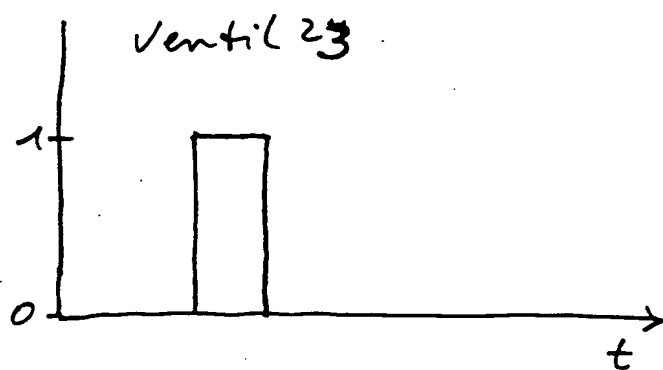


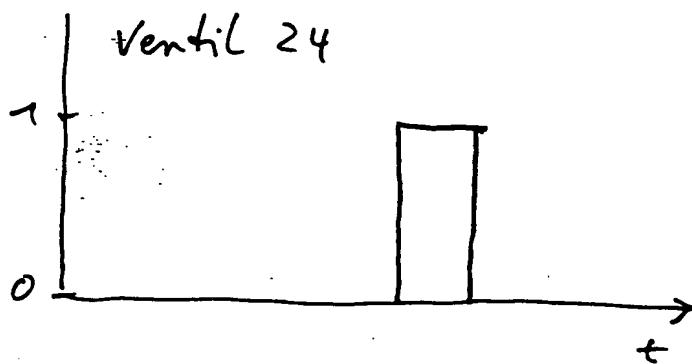
Fig. 4



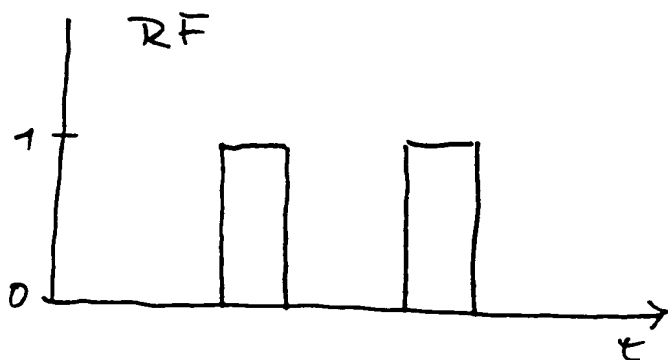
5-1



5-2



5-3



5-4

Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**